

UM ESTUDO DA VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE SDN HÍBRIDA NA REDE DO IFCE CAMPUS ARACATI

A FEASIBILITY STUDY OF HYBRID SDN DEPLOYMENT IN THE NETWORK OF THE IFCE CAMPUS ARACATI

José Valdenício Ferreira Cruz*

Reinaldo Bezerra Braga**

RESUMO

Rede definida por software (*Software Defined Network*, SDN) está recebendo significativa atenção por parte da academia e da indústria nos últimos anos. Ao desacoplar o plano de controle e de dados, as redes SDN permitem criar aplicações de controle reativas e dinâmicas a eventos da infraestrutura. O lento processo de adoção desta tecnologia é consequência direta do alto custo da implantação e da falta de exemplos concretos de migrações gradativas bem sucedidas, ou seja, um ambiente onde os nós legados e SDN podem trabalhar juntos, também conhecido como SDN híbrido. O objetivo desse trabalho é apresentar um estudo de caso de migração da rede tradicional do IFCE campus Aracati para uma rede SDN híbrida. Para isso, os modelos de ilhas SDN e ilhas legadas, baseado em serviço e com *middleware* foram analisados. Para cada modelo, foram apresentadas suas vantagens e desvantagens. Além disso, foi realizado uma análise comparativa entre os 3 modelos, onde com base nas características do IFCE/Campus Aracati foi definido que o o modelo de ilhas tem melhor compatibilidade com a rede do campus devido a possibilidade de posicionar estrategicamente uma ilha SDN que ofereça todos os benefícios do novo paradigma, baixo custo, baixa interferência na rede operante e permite ampliação de forma gradual e controlada.

Palavras-chave: Redes Definidas por Software, SDN híbrido, Migração.

ABSTRACT

Software Defined Network (SDN) has received significant attention from academia and industry in recent years. By decoupling the control and data plane, SDN networks allow you to create control applications that are reactive and dynamic to infrastructure events. The slow adoption

* Graduando em Bacharelado em Ciência da Computação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Aracati, Ceará, Brasil. E-mail: valdenicio22@gmail.com

** Doutor em Ciência da Computação, Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Aracati, Ceará, Brasil. E-mail: reinaldo@lar.ifce.edu.br.

process of this technology is a direct consequence of the high cost of deployment and the lack of concrete examples of successful gradual migrations, that is, an environment where legacy nodes and SDN can work together, also known as hybrid SDN. The purpose of this work is to present a case study of migration from the traditional network of IFCE campus Aracati to a hybrid SDN network. For this, the SDN islands & legacy islands, service-based and middleware models were analyzed. For each model, its advantages and disadvantages were presented. In addition, a comparative analysis was performed between the 3 models, where based on the characteristics of the IFCE/Campus Aracati it was defined that the island model has better compatibility with the campus network due to the possibility of strategically positioning an SDN island that offers all the benefits of the new paradigm, low cost, low interference in the operating network and allows for gradual and controlled expansion.

Keywords: Software Defined Networking. Hybrid SDN. Migration.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, as redes de computadores evoluíram de uma rede acadêmica para uma ampla plataforma comercial. Além disso, as redes têm se tornado parte integrante e indispensável da sociedade contemporânea, sendo utilizada de forma cada vez mais intensa e diversificada. Serviços avançados de rede são essenciais para viabilizar os mais variados e dominantes tópicos da atualidade, como a Computação em Nuvem (*Cloud Computing*), Internet Móvel (*Mobile Network*), a Internet das Coisas (*Internet of Things*, IoT), o processamento de fluxos (*streams*) complexos, serviços multimídias de alta definição – particularmente, serviços de vídeo *streaming*, entre muitos outros (CISCO, 2020). Neste sentido, os requisitos dinâmicos e adaptativos de gerência de redes são cada vez mais exigidos.

As infraestruturas de redes tradicionais são construídas a partir de um grande número de dispositivos de rede, como roteadores, *switches* e vários tipos de *middleboxes* (ou seja, dispositivos que manipulam o tráfego para outros fins que não o encaminhamento de pacotes, como um *firewall*) com muitos protocolos complexos implementados e fechados pelos fornecedores. Os mecanismos de encaminhamento e controle existem dentro do mesmo dispositivo de rede e estão fortemente interligados. Essa interligação é conhecida como integração vertical (Kreutz et al., 2015). A integração vertical e as características específicas do fornecedor dificultam a flexibilidade, a dinamicidade, a adaptabilidade e a inovação das infraestruturas de rede. A transição do IPv4 para o IPv6 é um testemunho disso (ORDABAYEVA et al., 2020).

Apesar de sua ampla adoção, as redes tradicionais são complexas e difíceis de gerenciar. Por exemplo, para definir políticas e/ou parâmetros de rede de alto nível, os operadores de rede precisam configurar cada dispositivo de rede individualmente e, geralmente, usam comandos de baixo nível e específicos do fabricante (Kreutz et al., 2015). Além da complexidade da configuração, mecanismos de resposta e reconfiguração automáticas são quase inexistentes nas redes tradicionais. Aplicar as políticas necessárias em ambientes tão dinâmicos é, portanto,

altamente desafiador (CSIKOR et al., 2020).

Diante das limitações da rede tradicional, novas propostas de soluções para Internet do futuro estão presentes na literatura, sendo a mais bem-sucedida o paradigma de redes definidas por software (*Software Defined Network*, SDN) (PAUL; KUMAR, 2020). Em primeiro lugar, os dispositivos de roteamento no paradigma SDN destinam-se apenas a encaminhar os pacotes, enquanto a lógica de controle da rede é centralizada no controlador/sistema operacional da rede. Isso quebra a integração vertical. Em segundo lugar, o controlador, por meio do protocolo *OpenFlow*, pode configurar, gerenciar, otimizar e monitorar os recursos de rede dinamicamente (WAZIRALI; AHMAD; ALHIYARI, 2021). O novo paradigma defende padrões abertos e neutralidade do fornecedor, o que aumenta ainda mais a inovação (AMIN; REISSLEIN; SHAH, 2018).

De acordo com gerentes de tecnologia da informação de diversos locais do mundo, a automação de redes e a arquitetura de redes definidas por *software* terão um impacto em cerca de (25%) na rede nos próximos cinco anos (CISCO, 2020). O paradigma SDN é amplamente utilizado em diferentes cenários, como na Rede *Backbone* do Google (MANDAL, 2015) e na Nuvem pública da Microsoft (GREENBERG, 2015).

Apesar de SDN oferecer benefícios diretos para a operação das redes, migrar uma tecnologia em uma rede não é uma tarefa trivial, independente das características envolvendo o *hardware* e/ou *software*. A implantação de SDN implica também em desafios operacionais e financeiros, tais como adquirir equipamentos com suporte ao protocolo *OpenFlow* (AMIN; REISSLEIN; SHAH, 2018). *OpenFlow* é um protocolo de comunicação aberto que permite o gerenciamento remoto das tabelas de encaminhamento de pacotes de um *switch* de rede e/ou roteador através da rede (WAZIRALI; AHMAD; ALHIYARI, 2021).

Existem duas abordagens clássicas para a implantação do paradigma SDN. A primeira considera a substituição de todos os equipamentos, conhecida como abordagem *clean slate* – adotada no contexto de novas infraestruturas (como as redes de *datacenter*). Na segunda abordagem, a substituição dos equipamentos é parcial e progressiva, conhecida como SDN híbrido (HUANG et al., 2018). Este trabalho foca nesta segunda abordagem.

Diferentes definições sobre redes SDN híbridas são fornecidas na literatura (SINHA; HARIBABU et al., 2017) (AHMAD; MIR, 2021). De um modo geral, o SDN híbrido é uma etapa lógica no processo de transição de uma rede tradicional para o SDN. Uma rede híbrida contém redes tradicionais e SDN, onde combinam a robustez dos protocolos tradicionais com a flexibilidade dos novos conceitos das redes SDN. Para implementar as redes SDN híbridas de maneira correta e eficaz, é necessário um modelo de rede SDN híbrido adequado (AMIN; REISSLEIN; SHAH, 2018).

Neste contexto, esse trabalho tem como objetivo específico, apresentar uma análise de 3 diferentes modelos de implantação de redes SDN híbridas, o modelo de ilhas SDN & ilhas tradicionais, baseado em serviços e com *middleware*, expondo suas vantagens e desvantagens. Além disso é realizado um estudo de caso da rede do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) campus Aracati, onde é apresentada a estrutura atual da rede e os

desafios da sua estrutura tradicional.

Após esse estudo, este trabalho tem como objetivo geral, realizar uma análise comparativa entre os 3 modelos SDN híbridos a fim de determinar com base no contexto do campus Aracati qual dos modelos possui as melhores características para a migração da rede. Por fim, é realizado uma simulação com a proposta SDN híbrida da rede do campus Aracati a fim de verificar se a utilização do novo paradigma na rede irá afetar o comportamento da rede tradicional.

Com o resultado desse trabalho foi possível perceber que o modelo de ilhas SDN & ilhas tradicionais possui as melhores características para uma migração gradual e controlada da rede do campus Aracati. Além disso, com a simulação percebemos que a instalação e utilização da Ilha SDN não afetou a comunicação da rede do campus Aracati.

O restante do artigo está organizado da seguinte forma: a Seção 2 apresenta a fundamentação teórica; a Seção 3 apresenta a análise dos modelos SDN híbridos; a Seção 4 apresenta a estudo de caso da rede do IFCE/Campus Aracati e análise comparativa entre os modelos SDN híbridos; a Seção 5 apresenta os passos da migração e o ambiente simulado; por fim, a Seção 6 apresenta a conclusão.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção foi realizado uma breve contextualização das redes SDN e redes SDN híbridas, seus elementos básicos, camadas e seus principais pilares de desenvolvimento.

2.1 Redes Definidas por Software

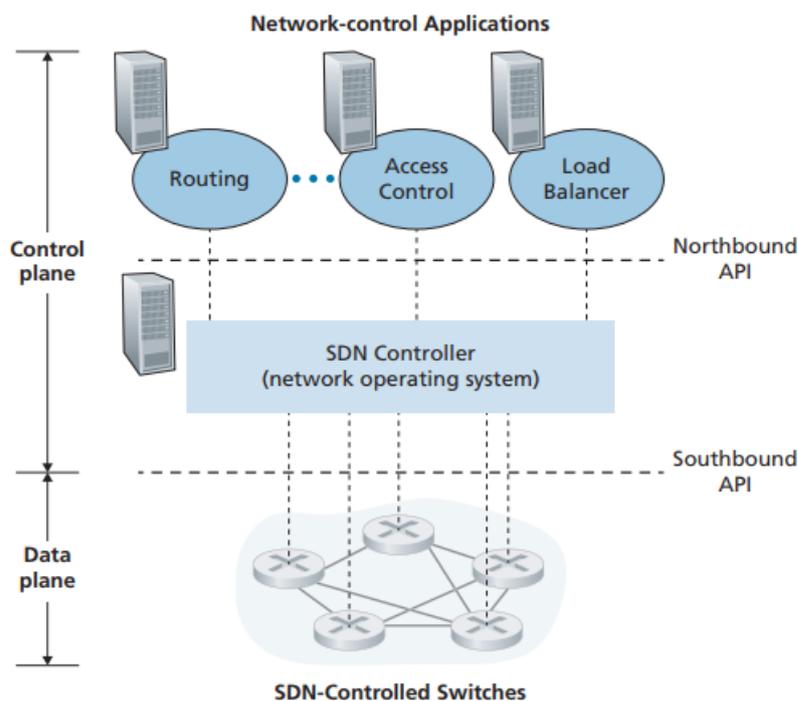
O termo *Software Defined Network* foi originalmente concebido com a finalidade de representar o trabalho do desenvolvimento em torno do protocolo *OpenFlow* na Universidade de Stanford (FOUNDATION, 2012). O SDN refere-se a uma arquitetura de rede que desacopla o plano de controle do plano de encaminhamento/dados. Este tipo de separação permite a programabilidade direta do plano de controle. Consolidando esta separação, o plano de controle é representado por um único *software* controlador capaz de administrar múltiplos dispositivos no plano de dados (*switches*, roteadores) (Kreutz et al., 2015). O controlador SDN assume o papel de Sistema Operacional de Rede (*Network Operating System*, NOS). Dispositivos localizados no plano de dados são representados por *switches* e consistem de uma ou várias tabelas de encaminhamento que são preenchidas pela ação do controlador SDN (AHMAD; MIR, 2021).

A comunicação entre o plano de controle e o plano de dados é estabelecida através de interfaces. Essas interfaces são divididas em: interface sul (*SouthBound Interface*, SBI), interface norte (*NorthBound Interface*, NBI) e em algumas abordagens para controladores distribuídos, interface leste (*EastBound Interface*, EBI) e interface oeste (*WestBound Interface*, WBI) (AHMAD; MIR, 2021).

A Figura 1 ilustra as 3 camadas que compõe uma arquitetura SDN, sendo a camada de encaminhamento (*Data plane*), a camada de controle (*Control plane*), que se comunica com a camada de encaminhamento por meio da interface sul, por exemplo: *OpenFlow*. A camada de

aplicação (*Application Layer*) representada dentro da camada de controle, apresenta as aplicações SDN ou simples aplicações que se comunicam com o controlador SDN por meio da interface norte, por exemplo: através de interface de programação de aplicativo (*Interface de Programação de Aplicativo, API*) (KUROSE; ROSS, 2017).

Figura 1 – Camadas da Arquitetura SDN.



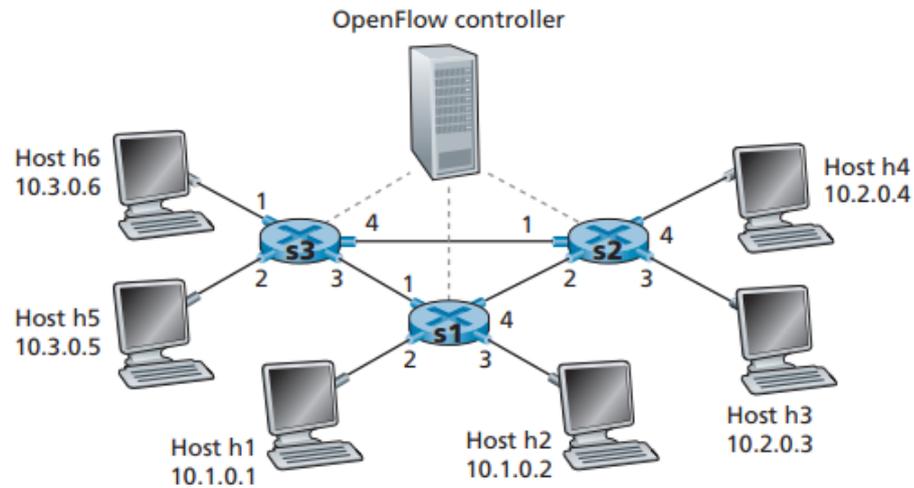
Fonte: (KUROSE; ROSS, 2017)

A Figura 2 ilustra um exemplo de uma rede SDN. Nesse exemplo, é ilustrado uma rede com 6 *hosts* (h1, h2, h3, h4, h5 e h6) e três *switches* de pacote (s1, s2 e s3), cada um com quatro interfaces locais (numeradas de 1 a 4). Desta forma, ele considera uma série de comportamentos em toda a rede e as entradas da tabela de fluxo em s1, s2 e s3, necessária para implementar diferentes comportamentos (KUROSE; ROSS, 2017).

De acordo com (SINHA; HARIBABU et al., 2017), a arquitetura SDN pode ser contextualizada em cinco pilares:

1. Permite a separação do plano de controle e do plano de dados.
2. Permite o uso de um protocolo padronizado para troca de informações entre o controlador e os dispositivos de rede.
3. Fornece programabilidade de rede através de uma Interface de Programação de Aplicativos (Application Programming Interface, API).
4. Flexibilidade em termos de abstração de fluxo.
5. Neutralidade do fornecedor.

Figura 2 – Exemplo de Rede Definida por Software (SDN).

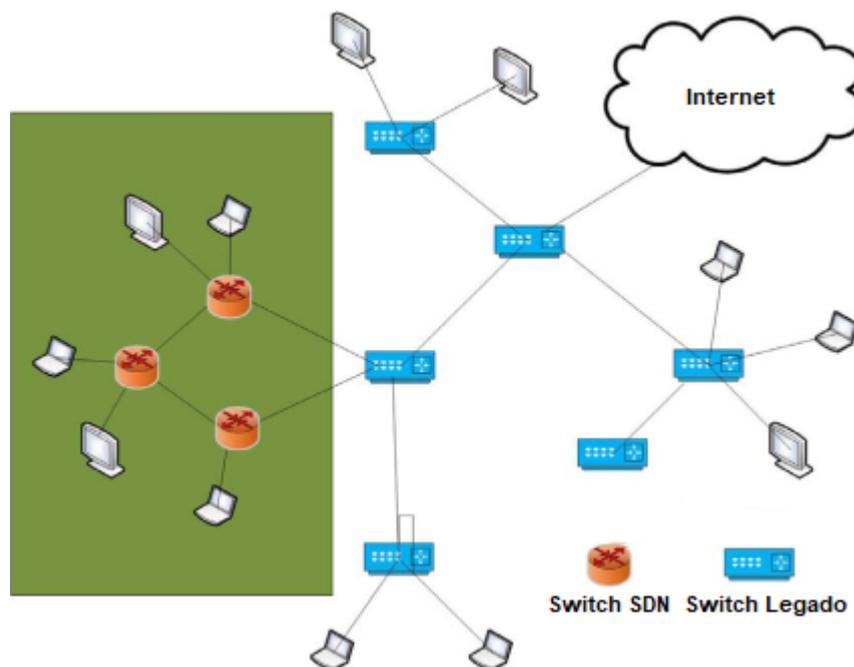


Fonte: (KUROSE; ROSS, 2017)

2.2 SDN Híbrido

O SDN híbrido refere-se a uma arquitetura de rede em que os paradigmas centralizados e descentralizados coexistem e se comunicam em diferentes graus para configurar, controlar, alterar e gerenciar o comportamento da rede para otimizar o desempenho da rede e a experiência do usuário (HUANG et al., 2018).

Figura 3 – Exemplo de SDN híbrida.



Fonte: Adaptada de (AMIN; REISSLEIN; SHAH, 2018)

A Figura 3 ilustra um exemplo de utilização da rede híbrida SDN. Esse exemplo (AMIN; REISSLEIN; SHAH, 2018) apresenta uma rede corporativa onde a parte da rede no retângulo verde é controlada pelo paradigma SDN, onde um controle mais refinado na rede pode ser

aplicado, como, por exemplo, na priorização de tráfego crítico. O restante da rede continua a operar com *switches* legados.

De acordo com (SINHA; HARIBABU et al., 2017), os principais pilares da arquitetura SDN híbrida são conhecidos como 3C's.

- **Coexistência:** Como o nome sugere, isso implica uma heterogeneidade na infraestrutura, seja no plano de dados ou no plano de controle, ou em ambos. Os componentes do SDN e do paradigma legado permanecem juntos na rede, embora possam ou não interagir juntos (como no pilar de Comunicação). O posicionamento estratégico de nós SDN dá origem a vários incentivos para uma transição (SINHA; HARIBABU et al., 2017).
- **Comunicação:** A comunicação transmite a ideia de integração interparadigmas com entendimento mútuo, compartilhamento e distribuição de funcionalidade entre componentes heterogêneos da rede. O SDN e os componentes legados não apenas coexistem, mas também interagem entre si e entendem as interfaces e os protocolos de cada um para aprimorar um ao outro (HUANG et al., 2018). Isso envolve uma série de técnicas, como tradução de protocolo, nós SDN capturando pacotes da lógica dos dispositivos legados para o controlador, análise de pacotes, injeção de pacotes do controlador para a rede legada e assim por diante (AMIN; REISSLEIN; SHAH, 2018).
- **Cruzamento:** O cruzamento envolve a mistura de diferentes paradigmas cujos atributos complementares melhoram a rede híbrida. Aqui, o cruzamento indica o grau de hibridização em termos dos atributos que ditam as compensações arquitetônicas. Por exemplo, pode haver uma compensação entre o número de recursos de um protocolo legado que o controlador SDN pode analisar e interpretar em relação ao desempenho do controlador. Da mesma forma, conforme o número de nós SDN aumenta no plano de dados, mais tráfego fica sob o controle SDN, embora isso aumente o orçamento da organização. Portanto, eles costumam agir como parâmetros para uma implementação específica a ser escolhida por uma organização (SINHA; HARIBABU et al., 2017).

3 DESENVOLVIMENTO

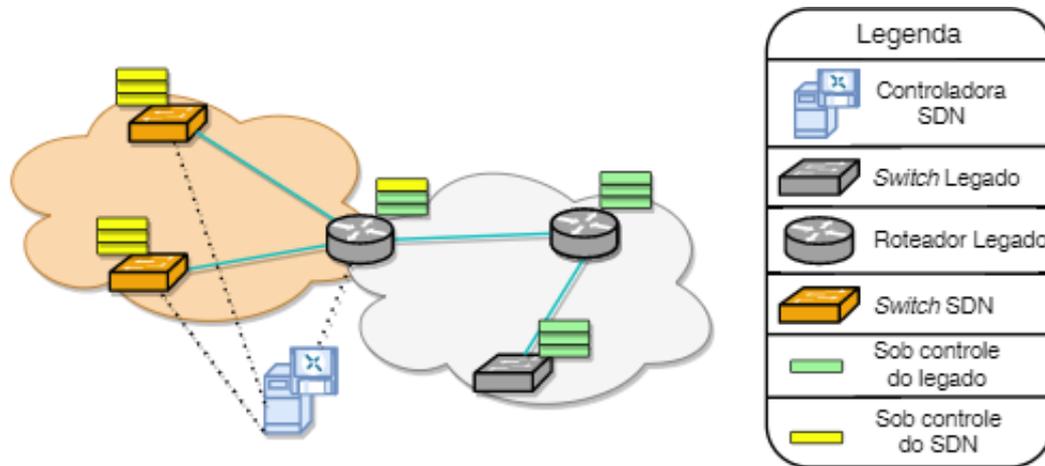
Nesta seção, é realizada a análise de 3 modelos de implantação de SDN híbrido, para cada modelo serão apresentados suas vantagens e desvantagens, além disso, são apresentados trabalhos relacionados com casos de implantação de cada modelo apresentado.

3.1 Modelo Ilhas SDN e Ilhas Legadas

Como o nome sugere, existe uma separação topológica dos nós controlados por cada paradigma. Mais precisamente, uma organização pode escolher uma pequena parte de sua rede para ser atualizada para SDN, enquanto o restante da rede continua funcionando com os dispositivos legados. Isso leva à formação de ilhas/zonas. Uma zona é um conjunto de nós

interconectados controlados pelo mesmo paradigma, sendo que a interação entre os serviços realizados pelos dois paradigmas também é possível (por exemplo, por meio de um *gateway*) (AMIN; REISSLEIN; SHAH, 2018).

Figura 4 – Ilhas SDN e Ilhas Legadas.



Adaptada de (AMIN; REISSLEIN; SHAH, 2018)

Um exemplo desse modelo híbrido está representado na Figura 4. A figura representa uma rede dividida em duas zonas, uma zona SDN (representada pela nuvem laranja) e uma zona tradicional (representado pela nuvem cinza). O exemplo corresponde a um caso em que SDN é adotado em uma sub-rede específica, por exemplo, apenas no *backbone* de uma organização, a fim de maximizar a utilização da largura de banda, como em (HONG et al., 2013).

Em (JAIN et al., 2013), uma rede SDN de longa distância (SDN *in a wide area network*, SD-WAN) é projetada e implementada para conectar centros de dados do Google em todo o planeta. O SDN é adotado no *backbone* para maximizar a utilização da largura de banda, enquanto se conecta a centros de armazenamento de dados remotos, com protocolos não SDN.

Muitas redes, empresariais e universitárias já estão divididas em vários domínios de roteamento. Essas divisões podem acontecer por diversos motivos, por exemplo, possibilidade de aproveitar recursos específicos de diferentes protocolos em sub-redes com necessidades específicas. O modelo em ilhas incentiva uma transição parcial em regiões estratégicas, dessa forma é possível construir confiança e experiência para ampliar a transição para outras zonas.

3.1.1 Vantagens

1. Incentiva a utilização dos benefícios SDN em pequenas zonas, sem interromper serviços ou setores sensíveis.
2. As zonas SDN pode ou não estarem isoladas da rede legada, o que permite a utilização de zonas experimentais. As zonas podem ser aumentadas conforme a tecnologia amadurece e um novo orçamento está disponível.

3. Regiões estratégicas podem ser aprimoradas com os benefícios do paradigma SDN.
4. A falha na implantação tem efeito apenas na região implantada, enquanto que o restante da rede permanece funcionando normalmente.

3.1.2 Desvantagens

1. O alto custo de implantação, já que em uma determinada região os dispositivos precisam ser atualizados para o paradigma SDN.
2. Em casos onde os paradigmas interagem, os benefícios oferecidos pelas redes SDN para a rede legada podem ser limitados de acordo com a técnica de comunicação utilizada (HUANG et al., 2018).

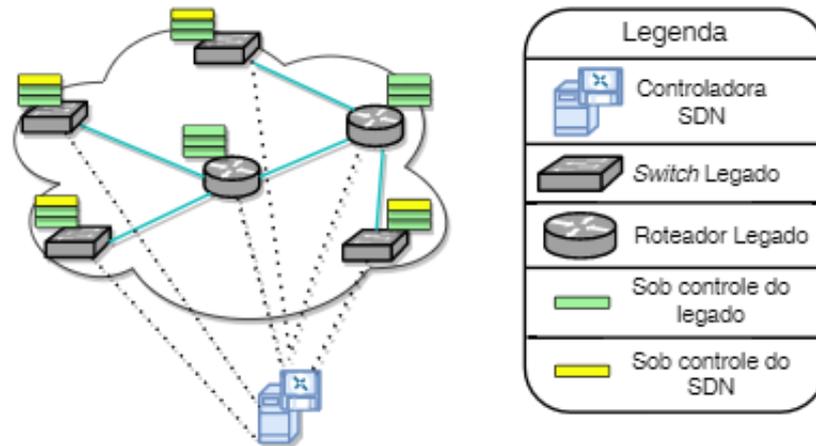
3.2 Modelo Baseado em serviços

No modelo SDN híbrido baseado em serviços, a rede legada e os dispositivos SDN coexistem, cada um fornecendo um conjunto diferente de serviços. Para implementar alguns serviços, como o de encaminhamento, os dois paradigmas podem abranger um conjunto de nós, controlando uma parte diferente da base de informação de encaminhamento (*Forward Information Base*, FIB) de cada nó (HUANG et al., 2018). No entanto, alguns nós podem ser controlados por um único paradigma, por exemplo, para realizar serviços específicos como balanceamento de carga ou tunelamento de ponta a ponta (KHORSANDROO et al., 2021).

Um exemplo de rede baseada em serviço é apresentado na Figura 5. Neste exemplo, SDN preenche a maioria das entradas FIB dos nós na borda da rede, enquanto os nós legados possuem um controle exclusivo de todo o FIB no interior da rede. O exemplo corresponde aos casos em que os serviços da rede, como encaminhamento, são delegados aos nós legados, enquanto SDN fornece serviços de ponta a ponta, como aplicação de engenharia de tráfego e políticas de acesso, ou serviços que exigem visibilidade total do tráfego, como monitoramento (AMIN; REISSLEIN; SHAH, 2018).

Em (HONG et al., 2016) utilizou um modelo de algoritmo de otimização para encontrar a melhor posição possível para substituição dos comutadores para o paradigma SDN. Após a substituição, o modelo híbrido baseado em serviço foi utilizado para que serviços como algoritmos de engenharia de tráfego e tolerância a falhas fossem atribuições do paradigma SDN. A avaliação em um provedor de internet (Internet Service Provider, ISP) real apontou que com apenas 20% dos dispositivos atualizados para SDN, o sistema foi capaz de reduzir o uso do link máximo em uma média de 32% em comparação com redes legadas puras (roteamento de caminho mais curto), enquanto requer apenas uma média de 41% da capacidade da tabela de fluxo em comparação com as redes tradicionais.

Figura 5 – SDN baseada em Serviços.



Adaptada de (HUANG et al., 2018)

3.2.1 Vantagens

1. Incentiva a utilização dos benefícios SDN em serviços específicos. O gestor da rede pode avaliar qual paradigma possui as melhores características para fornecer determinado serviço.
2. Melhorar certos serviços dentro de uma organização, por exemplo, serviços de reação rápida a falhas de link e redução de extensão do caminho (VISSICCHIO; VANBEVER; BONAVENTURE, 2014).
3. Uma falha que ocorre na implantação de SDN afeta os serviços que são gerenciados pelo paradigma, deixando o restante dos serviços de rede inalterados.
4. Os serviços podem ser mudados para SDN progressivamente com fases de implantação incrementais.

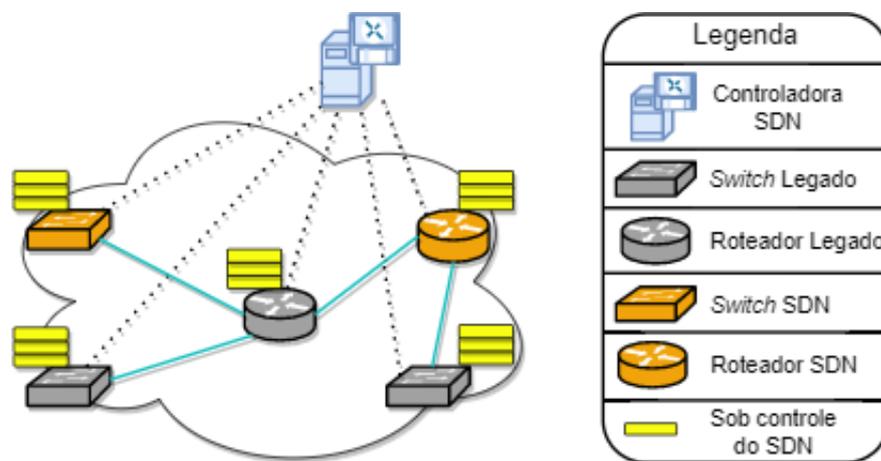
3.2.2 Desvantagens

1. O investimento é proporcional a quantidade de equipamentos que serão substituídos.
2. Na fase de implantação, os serviços precisam ser interrompidos.
3. Alguns serviços ou grupo de serviços não podem ser necessariamente separados para serem controlados pelos dois paradigmas. Por exemplo, a rede legada ser responsável pelo balanceamento de carga e o paradigma SDN fazer o roteamento (AMIN; REISSLEIN; SHAH, 2018).

3.3 Modelo com middleware

Para fornecer um melhor controle do tipo SDN, este modelo visa fazer com que o controlador SDN entenda os protocolos legados com um módulo de software específico, denominado *middleware*, de forma a habilitá-lo a interagir com os nós legados. Isso apresenta uma estratégia de transição em duas etapas. Primeiro a transição do controle do modelo legado para um módulo de software, a segunda etapa envolve alterar o plano de dados progressivamente, adicionando nós SDN e, portanto, movendo-se em direção a uma implantação SDN completa (AMIN; REISSLEIN; SHAH, 2018).

Figura 6 – SDN baseada em Middleware.



Adaptada de (SINHA; HARIBABU et al., 2017)

Com SDN baseada em *middleware*, conforme mostrado na Figura 6, o controlador SDN usa um protocolo legado como uma interface (*middleware*) para alterar as configurações do nó legado, enquanto controla os switches SDN de maneira padrão. O controlador rouba, analisa e injeta pacotes de protocolos legados para atingir o objetivo (HUANG et al., 2018).

(HAND; KELLER, 2014) apresentam um sistema de técnicas para habilitar o controle SDN sobre o hardware legado existente, que é proprietário; para realizar o controle refinado disponível no *OpenFlow*.

(LU et al., 2013) propõem um controlador chamado HybNET para gerenciar infraestrutura de rede híbrida. HybNET funciona em duas fases. Na primeira fase, ele constrói a topologia de rede e configura através da conexão de chamada remota de procedimento (*Remote Procedure Call, RPC*) entre o controlador SDN e os nós legados. Na segunda fase, o controlador recebe a solicitação de gerenciamento de rede do operador de rede e a analisa. Com base na solicitação, o controlador HybNET calcula a operação de rede e separa as operações necessárias para serem realizadas em nós legados e nós SDN. HybNET comunica as mudanças necessárias nos nós SDN para o controlador SDN por meio de chamadas API REST. Além disso, essas mudanças são comunicadas aos nós SDN por meio do protocolo *OpenFlow*. A mudança nos nós legados é realizada pelo controlador HybNET por meio de funções de retorno de chamada RPC. Qualquer

mudança na infraestrutura de rede, como uma mudança na topologia física, precisa ser relatada ao controlador HybNET.

3.3.1 Vantagens

1. Baixo custo, este modelo funciona mesmo se não houver nós SDN.
2. Alguns benefícios de gerenciamento de rede, podem ser alcançados. Por exemplo, a configuração dos nós na rede pode ser automatizada (VISSICCHIO; VANBEVER; BONAVENTURE, 2014).
3. Com base na necessidade de uma organização, o gestor da rede aplica as técnicas de integração apenas nos protocolos específicos, reduzindo a carga no controlador SDN e permitir um desempenho mais rápido.
4. O *fallback* para mecanismos legados o torna robusto, no caso de falha do controlador SDN (AMIN; REISSLEIN; SHAH, 2018).

3.3.2 Desvantagens

1. Nem todos os protocolos legados podem ser traduzidos no controlador. Um conjunto de protocolos deve ser escolhido de forma inteligente para atender a vários dispositivos *Layer2 / 3* na rede e as necessidades da organização (HUANG et al., 2018).
2. Nem todos os benefícios do SDN podem ser ativados. Por exemplo, pode ser difícil coletar estatísticas de rede dos nós diretamente.
3. A tradução do protocolo no controlador incorre em carga no controlador e latência na comunicação

4 ANÁLISE COMPARATIVA

Nessa seção será apresentado o estudo da topologia tradicional da rede do campus aracati e a análise comparativa com base no contexto do campus Aracati entre os modelos SDN híbrido apresentados na seção 3.

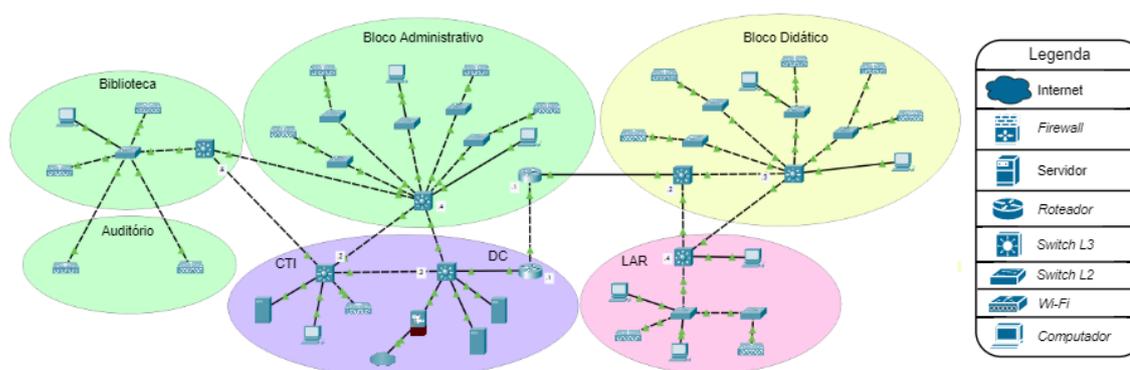
4.1 IFCE - Topologias Tradicionais

Dado que qualquer um dos 3 modelos de implantação pode ser utilizado, o que difere a utilização dos modelos é qual possui as melhores características para determinado cenário e o nível de experiência no paradigma SDN para aplicação do modelo, já que nós vimos que alguns dos modelos requerem técnicas mais avançadas para sua utilização. Por isso, antes de realizar a análise comparativa entre modelos SDN híbridos, é preciso entender o contexto atual da rede

do campus Aracati, a fim de determinar suas características e os desafios enfrentados pela rede, dessa forma, será possível determinar qual modelo melhor atende as características do campus.

A rede do campus IFCE Campus Aracati é composta por diversos dispositivos como: pontos de acesso sem fio (*access points*), *firewall*, *switches*, fisicamente distribuídos nos diferentes ambientes internos da instituição, como corredores, biblioteca, salas de aula e laboratórios. Os prédios da instituição estão conectados através de enlaces guiados (fibras e par trançados), os quais são comutados através de dispositivos de encaminhamento, como *switches* gerenciáveis. Na borda da infraestrutura, há um *switch* gerenciável que recebe via fibra o *link* de internet, repassa para o *firewall* da rede, que, por sua vez, implementa serviços, bloqueios e regras de utilização, para então repassar o acesso para os demais nós da rede. Esta rede está representada na Figura 7.

Figura 7 – Infraestrutura atual do IFCE Campus Aracati



Fonte: Próprio Autor

Visto que, a rede da instituição é dividida em ilhas, cada cor representa uma rede local virtual (*Virtual Local Area Network - VLAN*) diferente, onde as ilhas verdes representam a VLAN administrativa, a ilha azul representa a VLAN da tecnologia da informação, a ilha amarela a VLAN do bloco didático e a ilha rosa a VLAN do laboratório de redes (LAR).

Conforme apresentado na Seção 1, a complexidade e as dificuldades encontradas em uma rede legada estão presentes na rede do campus Aracati. Por exemplo, a configuração de uma nova VLAN na rede implica em reproduzir essa configuração em todos os *switches* da rede, de forma manual e individual, seguindo as regras de configuração dos diferentes fabricantes dos dispositivos. Consequentemente isso aumenta a complexidade da configuração, bem como a possibilidade de erro humano. Sabendo que a má configuração em um desses dispositivos operantes na rede, pode prejudicar ou até mesmo interromper a disponibilidade de outros dispositivos ou serviços.

Neste contexto, com intuito de resolver/mitigar os desafios presentes na rede tradicional do campus Aracati, esperasse que o modelo permita criar ambientes experimentais, para que possasse criar experiência e confiança no novo paradigma, além disso, baixo custo e menor interrupção possível nos serviços já disponibilizados na rede são atributos desejáveis para uma migração suave e controlada.

4.2 Comparativo entre os modelos

O modelo de ilhas SDN & ilhas tradicionais tem como principais incentivos, a possibilidade de aplicar um controle mais refinado em uma determinada região da rede e a possibilidade de criar zonas experimentais isoladas da rede principal a fim de construir confiança e experiência para evoluir a ilha para outras regiões.

Caso o setor escolhido para fazer a transição de paradigma esteja funcionando com paradigma tradicional, este serviço deve ser interrompido para a mudança. No caso de novas redes, nenhum serviço precisa ser interrompido. A aplicação das novas políticas são ativadas na ilha SDN, embora isso possa ser estendido a outro tráfego caso ele passe por uma ilha SDN. A escalabilidade é uma função do tamanho das ilhas, enquanto a robustez é gerenciada pelos paradigmas separadamente.

Já no modelo baseado em serviço, o objetivo é introduzir o gerenciamento de serviços usando SDN. Os nós são utilizados em locais estratégicos da rede e os investimentos podem ser graduais, levando em consideração a estratégia de implantação incremental de novos nós.

Cada estágio incremental pode causar interrupção dos serviços devido à reconfiguração dos nós. Um serviço específico que está sendo migrado pode enfrentar uma interrupção prolongada, enquanto outros serviços podem ser retomados. Os serviços suportados por SDN podem ser totalmente programados usando os nós SDN. Isso pode estar parcialmente disponível para serviços fornecidos pelo paradigma tradicionais. Serviços específicos como controle de tráfego e *middle-boxing* podem ser aprimorados. A escalabilidade desses serviços é limitada pela carga no controlador.

Tabela 1 – Comparativo dos modelos de SDN.

	Ilhas SDN e Ilhas Legadas	Baseado em Serviço	Baseada em <i>Middleware</i>
Componentes SDN	Controlador, <i>switches</i> nas ilhas.	Controlador, <i>Switches</i>	Controlador, <i>Switches</i>
Incentivo para atualização	Transição parcial de paradigma.	Introdução de serviços SDN, ex: (NFV)	Custo mínimo, controlador SDN
Integração inter-paradigma	Via <i>gateways</i> , interconexões	Coordenação nos planos para divisão de serviços	Tradutor de protocolos, injetar, coleta dados.
Investimento	Proporcional ao tamanho da ilha	Gradativo baseado na substituição dos nós	Gradativo baseado na substituição dos nós
Suavidade da transição	Alterações apenas na região escolhida	Interrupção de serviço para reconfigurações dos equipamentos	Interrupção de serviço devido à substituição dos nós
Facilidade de implantação	Simple, permite redes experimentais	Experiente, exige a separação dos serviços	Experiente, exige a comunicação inter paradigmas e tradução.
Escalabilidade e robustez	Específica dos paradigmas	Serviços SDN limitados pela carga no controlador	Limitada pela carga do controlador

Fonte: Adaptada de (SINHA; HARIBABU et al., 2017)

Com *middleware* o principal incentivo para este modelo é permitir o controle SDN no plano de dados existente com custo mínimo. Após a primeira etapa da transição do modelo legado para o modelo de software, a segunda etapa é adicionar nós SDN e, assim, avançar para uma implantação SDN completa. O esquema de investimento pode ser gradual levando em consideração a estratégia de implantação incremental de novos nós.

A interrupção dos serviços ocorre parcialmente devido à introdução de nós SDN. Isso pode acontecer em cada fase da transição. Os nós SDN são programáveis, ao passo que, para outros nós, a programabilidade depende da capacidade do controlador SDN, sua carga e suporte dos dispositivos legados (por exemplo, alguns campos de correspondência de pacote podem não ser suportados). Abstração de fluxo e gerenciamento de tráfego aprimorado em termos de expressão de política e aplicação estão disponíveis para um fluxo em diferentes esquemas. Por exemplo, pode ser necessário que o fluxo passe por pelo menos um nó SDN para benefícios como monitoramento, *firewall*, etc; e deve passar por dois nós SDN, para um roteamento refinado. A carga no controlador SDN é o gargalo para o aumento de escala e a robustez é fornecida pelo controlador SDN e protocolos legados.

Com base na comparação dos modelos apresentados na Tabela 1, a abordagem que apresenta maior proveito dos benefícios do paradigma SDN, permite a criação de ilhas experimentais, menor interrupção de serviço e baixo investimento é a abordagem Ilhas SDN & Ilhas tradicionais. Dado que, a rede do campus Aracati já está subdividida em ilhas, é possível iniciar a migração criando uma pequena Ilha SDN dentro da ilha do laboratório de redes (LAR) do campus e através do estudo e pesquisa no paradigma, ampliar gradualmente a ilha SDN para outros setores.

5 MIGRAÇÃO

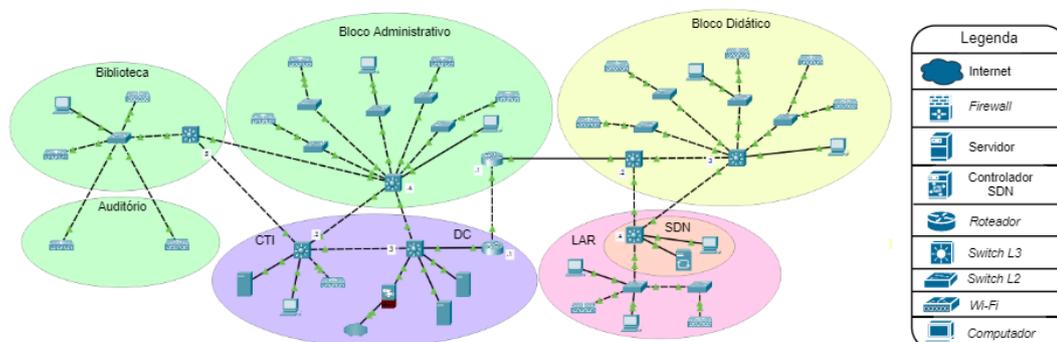
Os documentos publicados pela *Open Networking Foundation* (ONF) direcionam estudos a respeito de migrações legadas para SDN, mostrando a importância e necessidade de adoção de práticas padronizadas que definem passos para uma migração suave e gradual (BHALGAT et al., 2014). As práticas são: i) Motivações para a migração, quais os ganhos que podem ser alcançados com o novo paradigma. ii) Planejar a migração de forma a manter todos os recursos e serviços oferecidos com a menor perda possível; iii) Simular em ambientes virtuais, com teste de comunicação a fim de verificar o comportamento dos dispositivos; e IV) Migrar parcialmente a rede legada para *OpenFlow*.

5.1 IFCE - SDN Híbrido

As motivações para a migração da rede do campus Aracati surgem por duas frentes. A primeira está relacionada aos ganhos significativos no gerenciamento da rede com a adoção do paradigma SDN, apresentado na Seção 2. A segunda relaciona-se com a contribuição científica e acadêmica, com a utilização do novo paradigma no campus, é possível disponibilizar aos entusiastas da área um local para a realização de experimentos em uma rede em produção, sem afetar o tráfego principal do campus. Ou seja, a instituição estaria, assim, agindo de forma a

fomentar a pesquisa em SDN, bem como contribuindo com a compreensão e aplicação do novo paradigma.

Figura 8 – Rede do campus com ilha SDN



Fonte: Próprio Autor

Com o objetivo de manter ativos todos os recursos e serviços oferecidos pela rede da instituição, a rede SDN foi definida estrategicamente dentro da ilha do LAR, formando uma nova e pequena ilha controlada pelo novo paradigma, como apresentado na figura 8. Essa pequena rede pode ou não está isolada da rede principal do campus. O posicionamento da rede SDN dentro da rede do laboratório permite o amadurecimento e teste das novas funcionalidades antes de entrarem em produção, prevenindo perdas ou interrupções na rede da instituição. Consequentemente, devido a natureza de pesquisa científica e aplicada do LAR, a criação de um ambiente SDN poderá beneficiar diretamente alunos e professores dos cursos de tecnologia do campus, por meio de projetos práticos, bolsas, publicações científicas, dentre outros incentivos que podem ser atingidos.

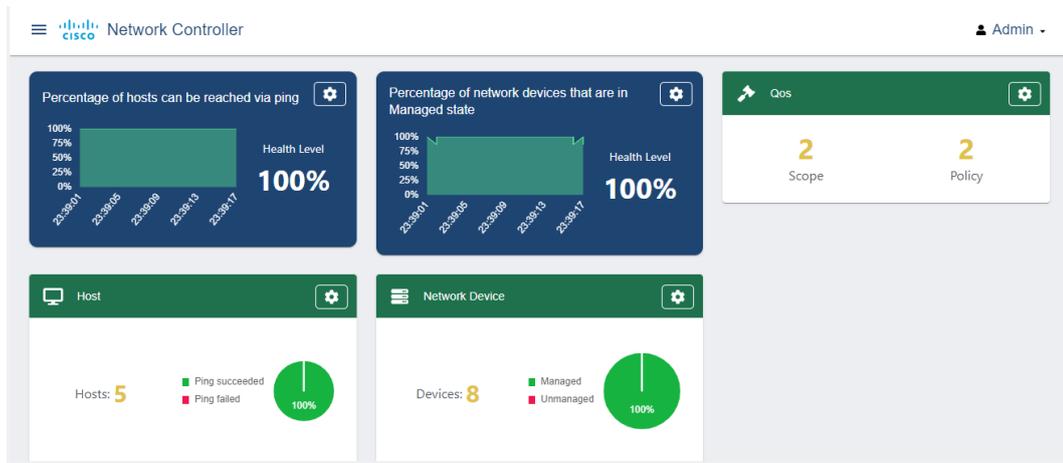
Por fim, analisamos se a implantação e utilização do modelo SDN híbrido causa interrupção na comunicação da rede. Para isso, foi realizado uma simulação utilizando o *Cisco Packet Tracer*, uma ferramenta de simulação visual, que permite aos usuários criar topologias de rede e imitar redes de computadores modernas. Nessa simulação, foi utilizado a versão 8.0.1 do *software*, os dispositivos de rede utilizados foram os roteadores ISR4331 e *switches* 3650 que são os dispositivos que suportam os dois paradigmas, além dos demais dispositivos, como *switches* L2 2960, computadores e dispositivos de rede sem fio que compõem a estrutura da rede legada da instituição.

Para simular uma rede SDN, o *Cisco Packet Tracer* dispõe de um dispositivo de rede chamado *Network Controller*. Nele as configurações dos dispositivos de rede são realizadas através de uma interface gráfica, como apresenta a Figura 9.

Através do protocolo de descoberta cisco (*Cisco Discovery Protocol, CDP*), o controlador verifica quais dispositivos podem ser gerenciados. Após o processo de descoberta, o controlador cria a visão global dos dispositivos alcançados por ele, como apresentado na Figura 10.

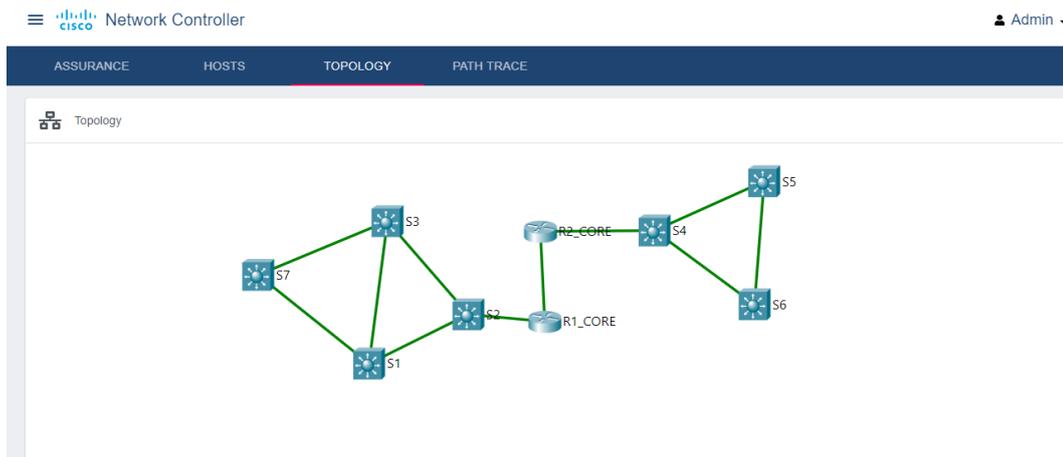
A visão global da rede Figura 10 serve de interface central entre as camadas de aplicação e de dados, facilitando o gerenciamento dos nós da rede como um todo. Além disso, essa visão

Figura 9 – Painel de configuração do controlador de rede



Fonte: Próprio Autor

Figura 10 – Visão global do controlador



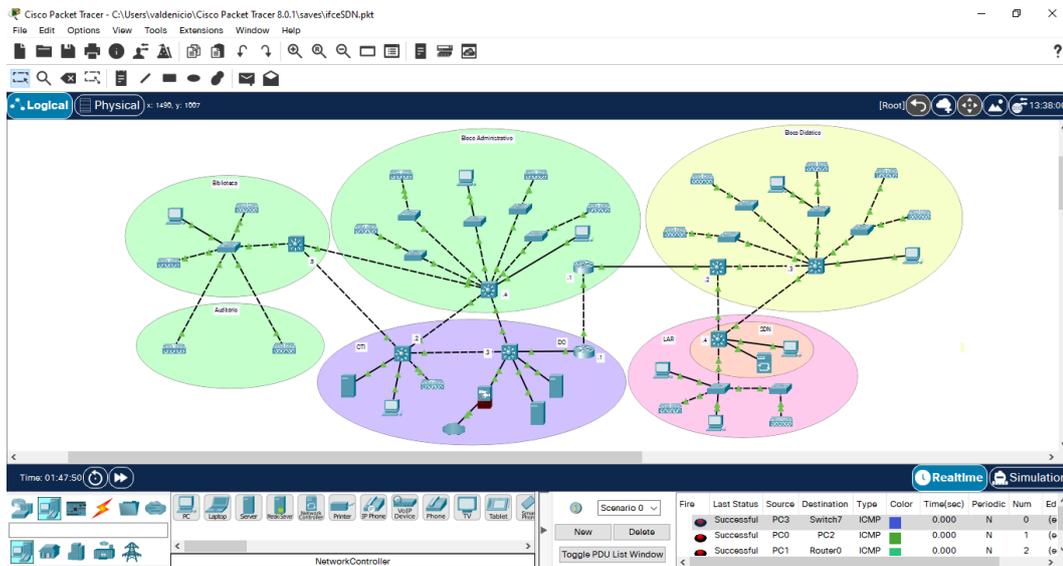
Fonte: Próprio Autor

permite que os gerentes de rede configurem, gerenciem, protejam e otimizem os recursos de rede rapidamente, através de programas dinâmicos e automatizados.

Após a instalação e configuração dos dispositivos do paradigma SDN, foi verificado se a comunicação da rede tradicional foi afetada pela presença do novo paradigma. Para isso, foi utilizado o protocolo de mensagens de controle da internet (*Internet Control Message Protocol - ICMP*) como apresentado na Figura 11.

Após os resultados dos testes, é possível perceber sucesso em todos os teste de comunicação entre todos os dispositivos da rede, mesmo com a adição da ilha SDN na rede do campus. Portanto, quando existir maturidade para configurar e manter a rede SDN, pode-se optar por algumas mudanças, tais como criar uma ilha que não contenha nenhum serviço essencial, para que, controladamente, possa-se testar as funções de comunicação com a rede legada do campus. Gradativamente, outros setores e serviços poderão ser adicionados à ilha com o novo modelo, até que a migração total seja concluída.

Figura 11 – Teste de comunicação da rede tradicional



Fonte: Próprio Autor

6 CONCLUSÃO

Este trabalho pretende contribuir para o início da migração da rede tradicional para SDN híbrida do campus Aracati. Nesse trabalho, foi apresentado os desafios enfrentados pelas redes tradicionais e como a migração para as redes definidas por software SDN podem resolver esses desafios. Foi definido o que é SDN, seus pilares e desafios de implantação. Para alcançar o objetivo específico, foi definido o que são as redes SDN híbridas, seus pilares de desenvolvimento e foi realizado o estudo e análise de 3 modelos SDN híbridos, expondo suas vantagens e desvantagens. Por fim, para alcançar o objetivo geral, foi realizado um estudo na rede do IFCE Campus Aracati, onde apresento a infraestrutura da rede atual e através de um estudo comparativo entre diferentes modelos de migração, proponho com base nos critérios de compatibilidade com a rede da instituição a utilização do modelo de ilhas SDN e ilhas legadas. Como forma de validar essa proposta, seguimos os passos de migração recomendados pela ONF. Por fim, foi realizado a simulação da rede SDN híbrida proposta para o campus Aracati, onde o paradigma SDN consegue fazer manipulações na rede de forma global sem afetar o funcionamento da rede existente.

Como trabalhos futuros, pretende-se validar o funcionamento do modelo híbrido por meio de outros parâmetros, como por exemplo: taxa de entrega (*Delivery Rate*), variação do Atraso (*Jitter*). Após a validação da análise no ambiente virtual, objetiva-se a implantação em ambiente real.

REFERÊNCIAS

AHMAD, S.; MIR, A. H. Scalability, consistency, reliability and security in sdn controllers: A survey of diverse sdn controllers. **Journal of Network and Systems Management**, Springer, v. 29, n. 1, p. 1–59, 2021.

AMIN, R.; REISSLEIN, M.; SHAH, N. Hybrid sdn networks: A survey of existing approaches. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, IEEE, v. 20, n. 4, p. 3259–3306, 2018.

BHALGAT, A. et al. Sdn migration considerations and use cases. **ONF Solution Brief, Open Netw. Found., Palo Alto, CA, USA, Tech. Rep. ONF TR-506**, 2014.

CISCO, U. **Cisco annual internet report (2018–2023) white paper**. 2020.

CSIKOR, L. et al. Transition to sdn is harmless: hybrid architecture for migrating legacy ethernet switches to sdn. **IEEE/ACM Transactions on Networking**, IEEE, v. 28, n. 1, p. 275–288, 2020.

FUNDATION, O. N. Software-defined networking: The new norm for networks. **ONF White Paper**, v. 2, p. 2–6, 2012.

GREENBERG, A. Sdn for the cloud. In: **Keynote in the 2015 ACM Conference on Special Interest Group on Data Communication**. [S.l.: s.n.], 2015.

HAND, R.; KELLER, E. Closedflow: Openflow-like control over proprietary devices. In: **Proceedings of the third workshop on Hot topics in software defined networking**. [S.l.: s.n.], 2014. p. 7–12.

HONG, C.-Y. et al. Achieving high utilization with software-driven wan. In: **Proceedings of the ACM SIGCOMM 2013 conference on SIGCOMM**. [S.l.: s.n.], 2013. p. 15–26.

HONG, D. K. et al. Incremental deployment of sdn in hybrid enterprise and isp networks. In: **Proceedings of the Symposium on SDN Research**. [S.l.: s.n.], 2016. p. 1–7.

HUANG, X. et al. A survey of deployment solutions and optimization strategies for hybrid sdn networks. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, IEEE, v. 21, n. 2, p. 1483–1507, 2018.

JAIN, S. et al. B4: Experience with a globally-deployed software defined wan. **ACM SIGCOMM Computer Communication Review**, ACM New York, NY, USA, v. 43, n. 4, p. 3–14, 2013.

KHORSANDROO, S. et al. Hybrid sdn evolution: A comprehensive survey of the state-of-the-art. **Computer Networks**, Elsevier, p. 107981, 2021.

Kreutz, D. et al. Software-defined networking: A comprehensive survey. **Proceedings of the IEEE**, v. 103, n. 1, p. 14–76, 2015.

KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. **Computer Networking: A Top-Down Approach**. 7. ed. Boston, MA: Pearson, 2017. ISBN 978-0-13-359414-0.

LU, H. et al. Hybnet: Network manager for a hybrid network infrastructure. In: **Proceedings of the Industrial Track of the 13th ACM/IFIP/USENIX International Middleware Conference**. [S.l.: s.n.], 2013. p. 1–6.

MANDAL, S. Experience with b4: Google’s private {SDN} backbone. 2015.

ORDABAYEVA, G. et al. A systematic review of transition from ipv4 to ipv6. In: **Proceedings of the 6th International Conference on Engineering & MIS 2020**. [S.l.: s.n.], 2020. p. 1–15.

- PAUL, S.; KUMAR, R. Sdn: the network of the future. **CSI Transactions on ICT**, Springer, v. 8, p. 29–32, 2020.
- SINHA, Y.; HARIBABU, K. et al. A survey: Hybrid sdn. **Journal of Network and Computer Applications**, Elsevier, v. 100, p. 35–55, 2017.
- VISSICCHIO, S.; VANBEVER, L.; BONAVENTURE, O. Opportunities and research challenges of hybrid software defined networks. **ACM SIGCOMM Computer Communication Review**, ACM New York, NY, USA, v. 44, n. 2, p. 70–75, 2014.
- WAZIRALI, R.; AHMAD, R.; ALHIYARI, S. Sdn-openflow topology discovery: An overview of performance issues. **Applied Sciences**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 11, n. 15, p. 6999, 2021.